

Microclima y Confort Térmico Urbano¹

Microclimate And Urban Thermal Comfort

DOI: 10.17981/mod.arq.cuc.23.1.2019.04

Artículo. Fecha de Recepción: 06/01/2019. Fecha de Aceptación: 09/17/2019.

Kevin R. Therán Nieto

Universidad de la Costa, Barranquilla (Colombia)
ktheran1@cuc.edu.co

Lizeth Rodríguez Potes

Universidad del Atlántico, Barranquilla (Colombia)
licirodriguez01@gmail.com

Stephania Mouthon Celedon

Universidad de la Costa, Barranquilla (Colombia)
stephaniamouthon@gmail.com.

Juliana Manjarres De León

Universidad de la Costa, Barranquilla (Colombia)
julianamdleon@gmail.com

Para citar este artículo:

Therán, K., Rodríguez, L., Mouthon, S. y Manjarres, J. (2019). Microclima y Confort Térmico Urbano, *MODULO ARQUITECTURA CUC*, vol. 23, no. 1, pp. 49-88, 2019. DOI: <http://doi.org/10.17981/mod.arq.cuc.23.1.2019.04>

Resumen

El presente artículo presenta una revisión de la literatura existente en cuanto al diseño de espacios urbanos, microclima y confort térmico urbano. El microclima y confort térmico en espacios urbanos, especialmente en las ciudades localizadas en regiones tropicales, debe ser abordada a partir de los conceptos y teorías que permiten comprender la incidencia de los parámetros microclimáticos y tejido urbano sobre la sensación de confort térmico y bioclimatización de los espacios urbanos. De esta forma, en este documento se manifiesta la significación de la planificación, el diseño urbano y microclima de una ciudad en regiones tropicales, explorando la clasificación de las zonas climáticas locales a nivel urbano, la isla de calor urbana, el confort térmico urbano, los parámetros microclimáticos como temperatura del aire, humedad relativa, viento, radiación solar e iluminación natural, la vegetación y su caracterización en espacios urbanos y la morfología de una ciudad.

Palabras clave: Microclima; confort térmico; diseño urbano

Abstract

This article presents a review of the existing literature regarding the design of urban spaces, microclimate and urban thermal comfort. The microclimate and thermal comfort in urban spaces, especially in cities located in tropical regions, must be approached from the concepts and theories that allow understanding the incidence of microclimatic parameters and urban fabric on the sensation of thermal comfort and bioclimatization of the urban spaces. In this way, this document shows the significance of planning, urban design and microclimate of a city in tropical regions, exploring the classification of local climatic zones at an urban level, the urban heat island, urban thermal comfort, microclimatic parameters such as air temperature, relative humidity, wind, solar radiation and natural lighting, vegetation and its characterization in urban spaces and the morphology of a city.

Keywords: Microclimate; thermal comfort; urban design

INTRODUCCIÓN

Planificación y diseño urbano

Las ciudades tienen orígenes diferentes pero crecimientos similares. Cuentan con un núcleo histórico-institucional, con infraestructura ferroviaria a la que se le superponen (tiempo después) las rutas del transporte vehicular. En tanto, la ciudad crece al ritmo de las subdivisiones de las manzanas fundacionales, de las quintas aledañas y de las chacras más próximas, que fueron valorizando la tierra rural y la propia ciudad con relativa autonomía de los servicios públicos. Hoy muchas de esas ciudades forman parte de complejas constelaciones metropolitanas (Tella, 2014). La mayoría de las principales ciudades a nivel mundial, sin excepción de las ciudades colombianas, tienen un centro histórico (que permanece en el tiempo) conformado por las primeras calles y manzanas de la ciudad, un sector donde se realizaron las primeras urbanizaciones planificadas y otros sectores conformados por urbanizaciones más nuevas, contando los barrios populares. Desde la antigüedad, la planificación y ordenación del territorio, ha sido un eje esencial en la gobernación y comando de los estados; todo monarca, gobernante o dirigente debía disponer del territorio de manera conveniente. En la edad media, la mayoría de las ciudades contaban con una muralla perimetral construida para la seguridad de los ciudadanos, todo esto concebido para mantener la autoridad y protección del reino. Actualmente, la planificación y diseño urbano cobra vital impor-

tancia en cuanto a la seguridad social, cultural, física y económica de un asentamiento humano. Estos conceptos han sido abordados desde principios y finales del siglo XX, cuando las urbanizaciones comenzaban a crecer en demografía y edificaciones.

La planificación urbana u ordenación territorial puede ser definida de numerosas maneras y de acuerdo a diferentes grados de complejidad. Desde una perspectiva tradicional, la planificación urbana está relacionada con el rol del Estado, en sus diferentes niveles, para intervenir en el diseño, administración y mantenimiento de ciudades. Este proceso tiene en cuenta directrices sobre el crecimiento de los asentamientos humanos, sus funciones y los instrumentos para ordenar la dinámica urbana. Así, desde el sector público, está considerada como una actividad regulatoria, burocrática y relacionada con procedimientos (Tewdwar-Jones, 1999). El planeamiento y diseño urbano puede ser concebido como el ordenamiento y definición territorial de un asentamiento humano por parte de entes y organismos estatales, interviniendo en este proceso profesionales de distintas disciplinas (arquitectos, urbanistas, ingenieros, etc.). Sin embargo, desde una visión más amplia, no solamente el Estado interviene en la planificación urbana, sino también el sector privado y la sociedad civil. En este sentido, los “planificadores urbanos” ya no sólo son técnicos que trabajan para la burocracia estatal y política, sino también para los desarrolladores urbanos y las organizaciones de la sociedad civil (Friedmann, 1998).

La planificación y diseño urbano es un proceso que involucra componentes técnicos, prácticos y normativos (incluidos los políticos) de la ordenación de la ciudad, sumados los componentes ambiental y social. Se trata de un proceso que no sólo contribuye, sino también da forma a la reestructuración social y económica. Algunos autores como Tewdwar-Jones (1999), enfatizan la necesidad de superar la noción de la planificación urbana como simplemente relacionada a reglas y regulaciones. No obstante, son las reglas y regulaciones normativas las que rigen, en primera instancia, el diseño urbano y arquitectónico de una ciudad. En el caso colombiano, las ciudades y municipios deben estructurar planes y esquemas de ordenamiento territorial, normativas guías para el diseño y construcción de espacios urbanos y parte ocupacional de los espacios arquitectónicos, donde se manifiesta las modalidades de actuación urbanísticas en un sector de la ciudad, así como la protección y definición de las zonas naturales y urbanas. De la misma manera como las regulaciones urbanas estipulan condicionamientos de diseño de los espacios, determina el paisaje natural a proteger y las zonas dentro del perímetro urbano destinadas para la expansión futura de la ciudad.

En el componente social de la planificación y diseño urbano intervienen varios factores: el individuo como actor del espacio, los espacios urbanos y las edificaciones arquitectónicas como elementos de cohesión y relación de la ciudad. Sin embargo, parece ser que el problema

en el diseño de las ciudades es su objeto, no se diseñan para que las personas se relacionen, convivan o se desarrollen (Nárvaez, 2016). De esta forma, el diseño urbano debe estar encaminado a la construcción de espacios que sirvan de esparcimiento, relación, descanso, confort y desarrollo de la cotidianidad para las personas, no dejando de lado el medio ambiente natural. Así, la concepción del diseño urbano ha variado con el tiempo, actualmente, el hombre, el correcto equilibrio entre el paisaje natural y urbano, la sostenibilidad, el clima local y, por supuesto, las regulaciones urbanas hacen parte del nuevo urbanismo y arquitectura. La ciudad es más que edificaciones dispuestas en alguna orientación cardinal, esta se constituye en un ecosistema urbano. La ciudad crea sus propias condiciones intrínsecas ambientales, lumínicas, de paisaje, geomorfológicas, etc., independientemente de las de su entorno y con sus características particulares propias. Por lo tanto el concepto general del ecosistema urbano estaría constituido por todos los factores que se enumeran a continuación (Higuera, 1998, p. 11):

- *Climáticos*: temperatura, humedad, y viento.
- *Físicos*: nueva geomorfología territorial.
- *Lumínicos*: consideraciones relativas a la luz.
- *De equilibrio ambiental*: ruidos, vibraciones, etc.
- *Paisajísticos*: con el medio circundante.
- *Sociales y psicológicos*: de relaciones interpersonales urbanas

Por lo anterior, el diseño y planificación de una ciudad, debe tener en cuenta el clima, las condiciones físicas, lumínicas, ambientales y paisajísticas, sociales y psicológicas del entorno construido y a construir. La ciudad se va construyendo con el tiempo y, como fue mencionado al inicio de acápite, consta de un casco urbano donde el centro histórico se va relacionando con las nuevas edificaciones, la transformación de los espacios urbanos e incluso la renovación de los sectores degradados. De este modo, el diseño urbano debe contemplar todos los factores antrópicos y ambientales del medio. Además, de involucrar el estudio del microclima urbano, así como cada uno de los parámetros microclimáticos, y su incidencia con el confort térmico de las personas en los espacios urbanos; identificando la importancia del diseño urbano bioclimático en ciudades localizadas en regiones tropicales.

Microclima urbano

El microclima urbano juega un rol importante en el consumo energético de los edificios y en las sensaciones de confort térmico de los espacios exteriores. La urgente necesidad de aumentar la eficiencia energética, reducir las emisiones de los contaminantes y paliar la evidente falta de sostenibilidad que afecta las ciudades, ha puesto la atención en el urbanismo bioclimático como referente para una propuesta de cambio en la forma de diseñar y vivir la ciudad (Tumini, 2012). El microclima evoluciona según las modificaciones de la forma urbana; a corto y / o largo plazo, es-

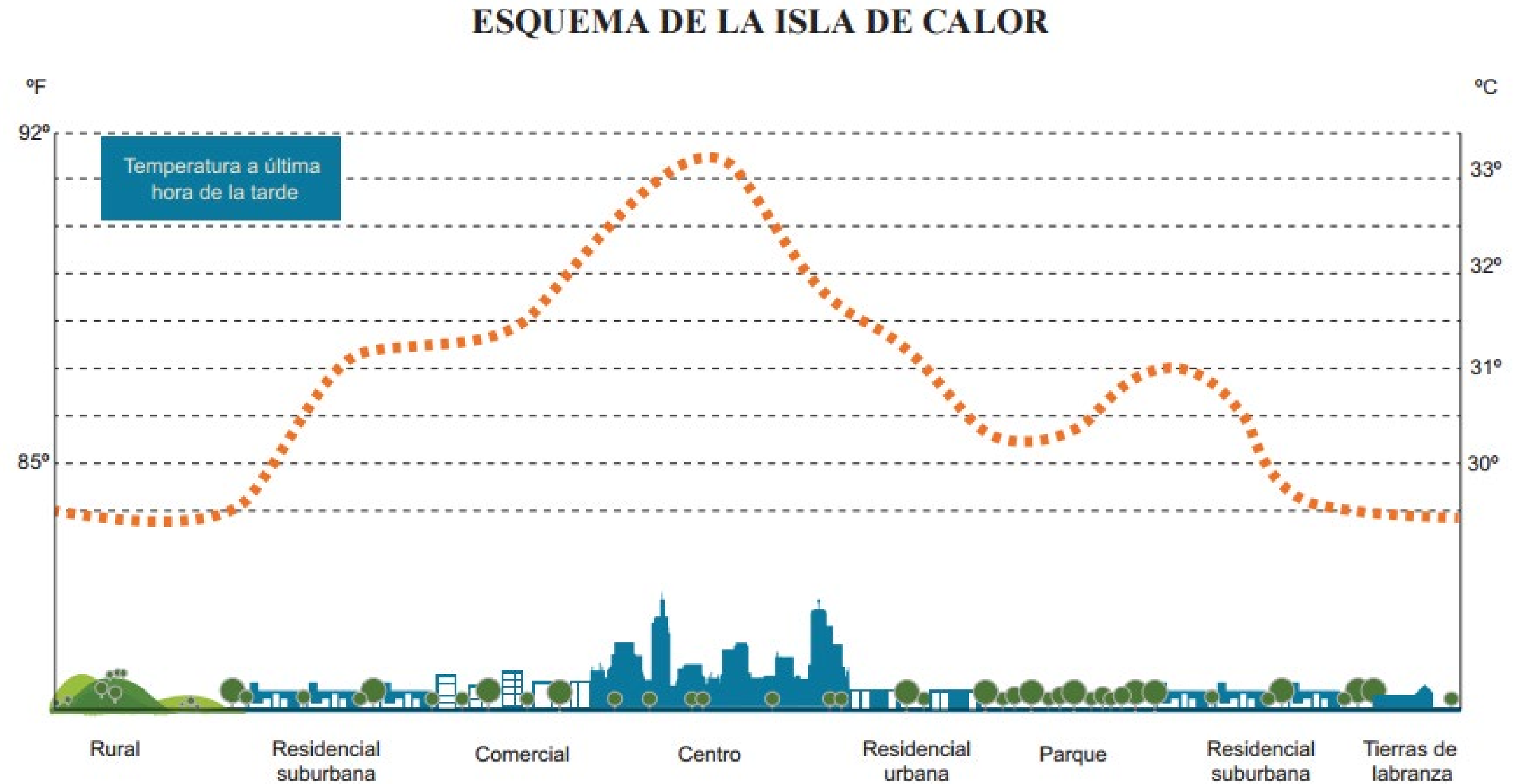
tos cambios tienen un impacto en las necesidades energéticas (aire acondicionado); entre otras cosas, pueden penalizar el confort térmico de los ciudadanos, sin mencionar los riesgos relacionados con el cambio climático al que está expuesta la ciudad (Villadiego, 2014).

El estudio de las condiciones microclimáticas de una ciudad ha sido tema de análisis de distintos investigadores en cualquier región del mundo, siendo ejes de investigación los distintos parámetros y variables que condicionan el clima a niveles locales (Higueras, 1998; Rodríguez, 2017; Tumini, 2012). El microclima urbano puede ser entendido bajo el concepto de clima urbano (a nivel local de una ciudad), clasificando las condiciones morfológicas y tejido urbano de una ciudad con el término de zonas climáticas locales (Stewart & Oke, 2012).

La palabra “ microclima “ se define en la literatura como un conjunto de condiciones, radiación solar y terrestre, viento, temperatura y humedad del aire y precipitación, presentes en el espacio externo a pequeña escala (Brown & Gillespie, 1995) que se ven afectadas por las condiciones del clima y la estación del año (Shashua-Bar, Tsiros & Hoffman, 2010; Rodríguez, 2017). La forma urbana tiene un gran impacto en el microclima urbano: los efectos de la orientación de la calle, la altura de los edificios, los materiales de construcción y la existencia de arborización tienen una influencia considerable en las condiciones de microclima (Rosheidat y Bryan, 2010; Andreou, 2013; Ng, Chen, Wang & Yuan, 2012; Rodríguez, 2017).

Por tanto, las zonas urbanas desarrollan microclimas debido a que la morfología urbana y las superficies de la ciudad se convierten en captadores y aprisionadores de energía térmica. La urbanización transforma el uso del suelo y la cobertura, modificando así el balance de energía, y haciendo que las ciudades sean más calientes que en las zonas periféricas (Quijano, Ramírez y González, 2017). De esta forma, el tejido urbano, la temperatura, viento, humedad relativa, radiación solar, iluminación natural y vegetación modifican el clima urbano de una ciudad, sea esta grande o intermedia. Es decir, que el microclima presente en espacios urbanos es, relativamente, distinto a las condiciones climáticas de zonas rurales sin o con poca intervención humana (Figura 1). El análisis de la influencia de la forma de la ciudad en el microclima térmico permite conocer más detalladamente sobre los elementos urbanos que admiten la transformación para obtener ambientes exteriores más confortables a través del planeamiento y el diseño urbano (Castro, Fernández y Álvarez, 2015).

Figura 1. Modificaciones en el microclima urbano.
Fuente: Oke, Spronken-Smith, Jáuregui & Grimmond (1999).



La temperatura del aire en zonas altamente construidas, puede alcanzar más de 33 °C, mientras que en zonas rurales es inferior a los 29.5 °C. Las características particulares del clima de las ciudades, como fue mencionado antes, suele llamarse “clima urbano”. La ciudad modifica el paisaje natural de manera significativa transformando el balance de radiación y el contenido de calor en las áreas urbanizadas. Estas modificaciones provocan cambios en la distribución de la temperatura dando lugar a un fenómeno que se conoce como el efecto de la “isla de calor”, que a su vez produce cambios en la distribución espacial de otras variables como la presión atmosférica, los vientos, la nubosidad y la precipitación, así como la distribución de contaminantes y los fenómenos meteorológicos extremos (Conde, Pabón y Sánchez, 2013, p. 29).

Para entender el alcance del término microclima urbano, se debe analizar los distintos parámetros microclimáticos (viento, temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar e iluminación natural), las condiciones morfológicas presentes en un espacio urbano (incluyendo las zonas climáticas locales por tejido urbano) y la vegetación urbana. No obstante, es esencial conceptualizar una de las principales problemáticas a causa del calentamiento global que incide en el microclima urbano: la isla de calor urbana.

Isla de calor

Son múltiples los problemas que la urbanización acarrea, un ejemplo de esto son las llamadas “Islas de Calor” (Galindo y Victoria, 2012). Se define isla de calor urbana (ICU) a la diferencia de condiciones climáticas registradas por un observador situado en la ciudad frente a otro observador localizado en su entorno rural (Oke, 1987). La isla de calor urbana es uno de los efectos del calentamiento global a nivel local, caracterizado por el aumento de la temperatura en espacios urbanos. La isla de calor urbana es una situación urbana de acumulación de calor en los centros urbanizados de las ciudades, debido a elementos urbanos como edificaciones, superficies absorbentes de calor, superficies de baja reflectancia, sistemas de transporte, falta de vegetación, materiales absorbentes de calor, y falta de ventilación. Esos factores influyen directamente el balance de la temperatura generando un desequilibrio en el microclima urbano. Esto estimula que la población explore alternativas para satisfacer su necesidad de confort buscando mecanismos de enfriamiento que a su vez generan más acumulación de calor.

Para Tumini (2012) el fenómeno de ICU se presenta tanto en el día como por la noche, según estudios realizados su intensidad de balance térmico puede alcanzar de 5°C a 10°C de diferencia con respecto al entorno. Son varios los factores que inciden en la formación de la isla

de calor entre estos: la actividad antropogénica, geometría de los espacios urbanos y las propiedades térmicas de los materiales constitutivos del medio construido. De todos modos, el componente más influyente en la ICU está relacionado con la actividad antrópica; la disminución de extensiones de evaporación como superficies vegetales se ha disminuido por el aumentando de zonas duras y edificaciones; los materiales de absorción, tales como revestimiento, acabados y componentes como la geometría de cañón han generado diversas respuesta a la absorción de calor y aumento de la concentración de gases de efecto invernadero están generado partículas de suspensión en el aire (Tumini, 2012, p. 36). La tipología y materiales de las edificaciones de un espacio urbano, pueden contribuir al aumento de la temperatura y acumulación de calor (Figura 2).

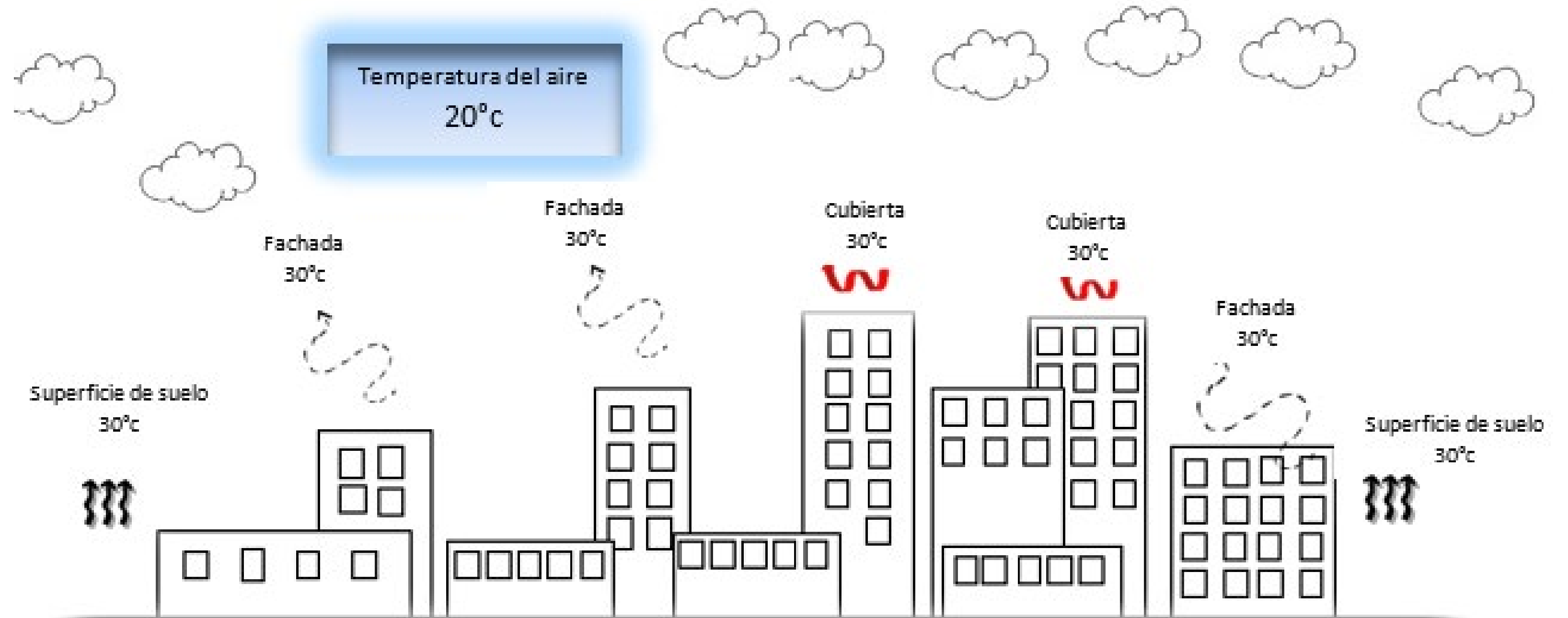


Figura 2. Perfiles de temperatura de isla de calor superficial.
Fuente: Elaboración propia.

Según Blender (2015), el término isla de calor se define como las zonas edificadas que presentan temperaturas promedias más altas que el campo abierto que las rodea. Explica que la urbanización, la falta de áreas verdes, pavimentos impermeables y el uso desenfrenado del automóvil incrementan la magnitud de este fenómeno, que es causado por la interacción de diferentes efectos, a saber:

- *Aumento de la absorción de la energía solar:* por superficies de baja reflectancia; por la ampliación de la superficie absorbente de calor; además por reflexiones múltiples entre los edificios
- *Aumento del calor acumulado* debido a la capacidad térmica de los materiales de construcción
- *Emisión de calor antropogénico* y de contaminantes atmosféricos
- *Obstrucción de los movimientos de aire* por medio de la edificación, especialmente falta de ingreso nocturno de flujos de aire frío
- *Reducción del evotranspiración* debido a la reducción de la vegetación y el aumento del pavimento impermeable.

Por otra parte, la isla de calor normalmente se distingue por la diferencia de temperatura del aire entre áreas rurales y urbanas; existiendo dos tipos de isla de calor (Tumini, 2012, p. 37):

- *La ICU a nivel suelo*, que consiste en la capa de aire entre el suelo y el nivel superior de cubiertas o árboles, afectando directamente a la población.
- *La ICU a nivel de altura*, consiste en la capa de aire que se encuentra por encima de las cubiertas o árboles y se propaga hasta el punto que el paisaje urbano afecte la temperatura del aire. La altura de ICU atmosférica normalmente no supera los 1,5 km.

El efecto de isla de calor urbana se presenta en prácticamente todas las ciudades del mundo, en diferente medida, dependiendo del macro y meso clima y de las características urbanas, pero generalmente es más fuerte cuanto más grande es la urbe (Blender, 2015). Además, la orientación de las calles y el bajo factor de visión del cielo dentro del cañón urbano, influyen en las características de la ICU (Sarricolea, Aliste, Castro y Escobedo, 2008; Sarricolea y Romero, 2010) (Castro, Fernández y Álvarez, 2015). Los problemas urbanos relacionados con la isla de calor urbana deberían ser abordados, puestos a criterios y solucionados en el diseño de espacios urbanos y arquitectónicos. Aun así, de parte de los planificadores, urbanistas y arquitectos hace falta tomar conciencia de las problemáticas que se generan a nivel urbano cuando se construye de manera arbitraria o sin reflexión de la acción del hombre en el medio. La isla de calor urbana, es solo una respuesta a nivel local de los efectos de la variabilidad climática.

*Morfología urbana:**Cañón urbano y zonas climáticas locales*

La morfología se refiere a la forma y estructura urbana de una ciudad, incluyendo el tejido, trazado y disposición de las manzanas de la misma. La morfología urbana es uno de los factores que incide en el microclima urbano; la forma y estructura de los espacios alteran y modifican el comportamiento de los parámetros microclimáticos en el medio, siendo el cañón urbano uno de los componentes morfológicos modificatorios del microclima. Se entiende por cañón urbano (CU) o relación H/W (Altura de la edificación y ancho de la calle), una configuración edilicia en áreas urbanas, formada por una calle donde sus bordes son delimitados por edificaciones mostrando una apertura hacia el cielo (Figura 3).

El cañón urbano está conformado por tres parámetros fundamentales (altura, ancho y distancia edificada del cañón urbano). A su vez, estos tres parámetros se simplifican en tres relaciones (Chicas, 2012):

- *Relación H/W*: describe las proporciones del cañón urbano, en función de la altura (H) y ancho de calle (W), permite una simplificación de las características de morfológicas urbanas del mundo real.
- *Orientación del cañón* (θ): describe el ángulo en grados del cañón respecto al eje Norte-Sur, generalmente se indica la dirección cardinal (N-S, E-W) o (NW-SE, NE-SW).
- *Factor de visibilidad del cielo* (SVF): (Sky view factor), describe la porción del cielo visible desde una superficie dada, en un punto específico o dentro de un área urbana.

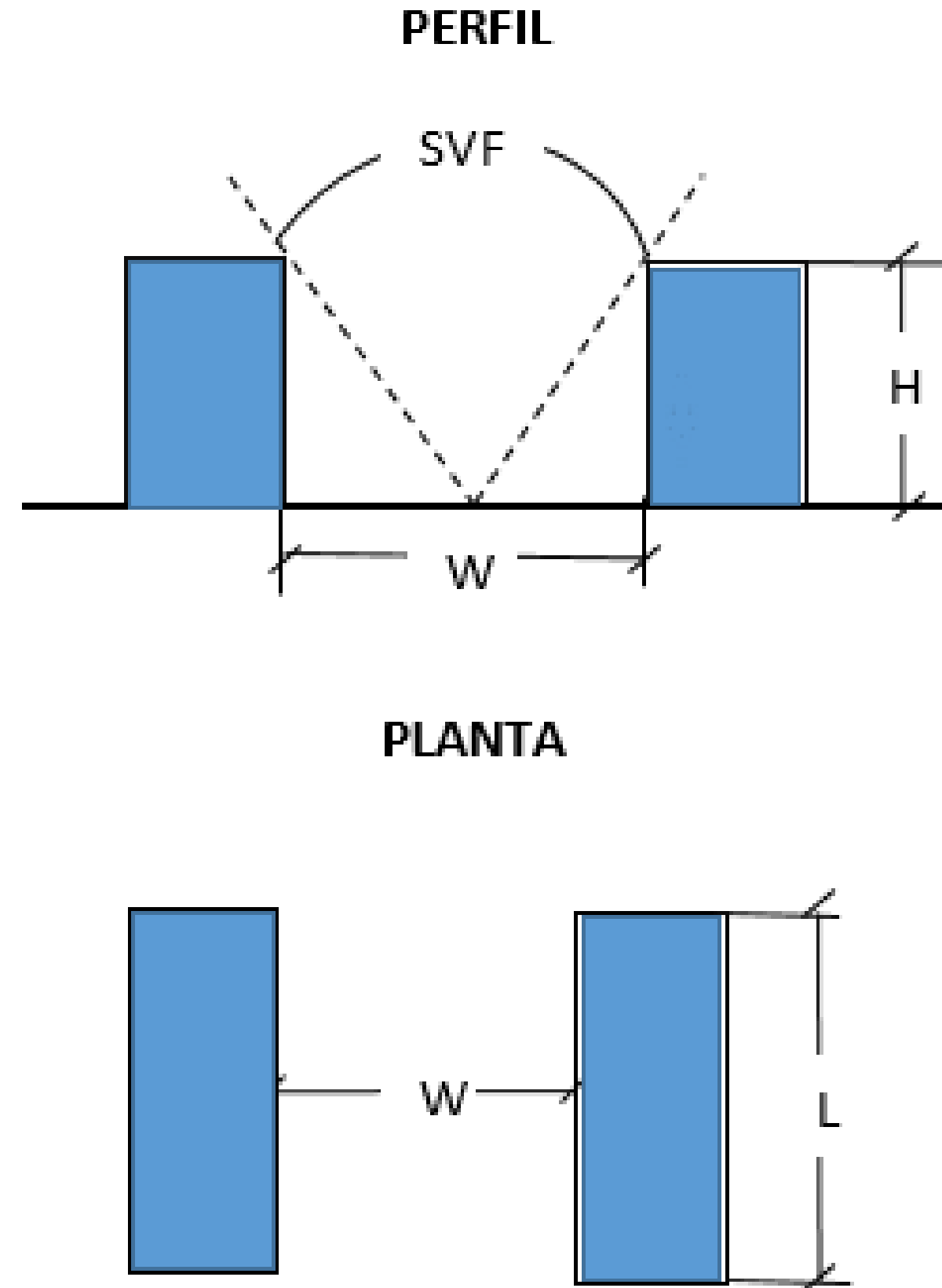


Figura 3. Perfil de cañón urbano.
Fuente: Elaboración propia.

La orientación de la calle, altura de la edificación, ancho de la calle y el SVF en el medio urbano, inciden en el aumento o disminución de la temperatura del aire, modifican los patrones de circulación del viento, aumentan o disminuyen la acumulación de calor en las fachadas, afectan la absorción de radiación solar, permite o no la siembra de arborización, etc. Las alturas de los edificios definen las condiciones límite entre el dosel (ramificación y follaje de la arborización) y la parte inferior del domo urbano. El intercambio entre estas dos capas y otros componentes como el vapor del agua, el calor y materiales particulado, sucede principalmente por las vías de turbulencia del aire derivadas de la morfología del cañón urbano (CU), de tal manera, que la combinación de los efectos climáticos de la morfología de los cañones urbanos, influyen directamente a crear las condiciones climáticas de un entorno a una escala local, lo cual genera efectos atmosférico complejo como isla de calor urbana (ICU), estos fenómenos se producen por la alteración del balance energético de los flujos de calor y el comportamiento del viento en relación a la profundidad, orientación de los cañones urbanos y la materialidad de los entornos construidos (Chicas, 2012, pp. 36-37).

Stewart y Oke (2012), estudiando la morfología de las ciudades, definieron las zonas climáticas locales que consisten en una clasificación de los espacios urbanos según las alturas y densidad de las edificaciones y la trama de la ciudad, siendo una respuesta a los efectos del medio construido en el microclima urbano (Tabla 1)

TABLA 1.
Zonas climáticas locales

Zonas climáticas locales (LCZ)	Definición
LCZ 1- Compacto de gran altura	Edificios de gran altura y densidad: Zona conformada por edificios de diez (10) niveles y más. Con muy poco o ningún árbol. Pavimento de cubierta más bien pavimentado. Caracterizado principalmente por materiales de construcción como hormigón, acero, piedra y vidrio
LCZ 2- Compacto de media altura	Edificios de baja altura y alta densidad: Zona conformada por edificios de viviendas entre tres y nueve niveles. Con muy poco o ningún árbol. Cubierta de suelo pavimentado. Caracterizado principalmente por materiales de construcción como hormigón, ladrillo, piedra y teja
LCZ 3- Compacto de bajo nivel	Edificios de baja altura y alta densidad: Zona conformada por edificios de viviendas entre uno y tres niveles. Con muy poco o ningún árbol. Cubierta de suelo pavimentado. Caracterizado principalmente por materiales de construcción como hormigón, ladrillo,
LCZ 4-Abierto de alto nivel	Edificios de alta y baja densidad: Zona conformada por edificios de diez (10) niveles y más. Con una Superficie permeable abundante del suelo. Caracterizado principalmente por materiales de construcción como hormigón, acero, piedra y vidrio.
LCZ 5-Abierto de medio nivel	Edificios de mediana altura y baja densidad: Zona conformada por edificios entre tres y nueve niveles. Con abundante superficie de suelo permeable. Caracterizado principalmente por materiales de construcción como hormigón, acero, piedra y vidrio.
LCZ 6-Abierto de bajo nivel	Edificios de baja altura y baja densidad: Zona conformada por edificios de viviendas entre uno y tres niveles. Con Una abundante superficie de suelo permeable. Caracterizado principalmente por materiales de construcción como madera, ladrillo, hormigón, piedra y baldosas

Fuente: Stewart y Oke (2012)

Las zonas climáticas locales se definen, según Stewart & Oke (2009), como una división de la estructura de las subclases del universo del paisaje, diferenciación de la superficie (factor de vista del cielo, altura de la rugosidad) y actividad cultural (flujo de calor antropogénico) permiten entender la variación que produce la morfología de espacios urbanos de los parámetros microclimáticos en el medio construido, constituyendo una clasificación importante para la modelización de las tipologías urbanas a analizar en las próximas fases de la investigación. De igual forma, existen otras zonas climáticas locales no definidas en este artículo.

Las LCZ definen la estructura urbana de sectores en una ciudad, desde la zona compacta de gran altura hasta la zona con tejido abierto y bajo nivel. Condiciones morfológicas urbanas comunes a cualquier ciudad a nivel mundial. En el diseño urbano, es necesario definir de forma correcta y conveniente al confort del ser humano (tanto térmico como social) la estructura y morfología urbana. Teniendo en cuenta los elementos urbanos a construir y aprovechando las variables naturales. Algunas variables del medio natural inciden en la estructura urbana y, por consiguiente, en el microclima urbano. Con respecto a las variables del medio natural influyentes en la estructura urbana del asentamiento destacan tres principalmente (Higuera, 1998, p. 22):

- *La orientación de la estructura urbana principal.* Las calles configuradoras de la estructura urbana principal pueden estar orientadas teniendo en cuenta las condiciones de sol y viento que afectan al asentamiento.
- *La adaptación o no a la topografía.* Los condicionantes del soporte territorial, pendientes, exposición, orientación, etc., pueden o no haber determinado la estructura urbana originaria o sus crecimientos posteriores.
- *Condiciones geométricas.* Relación entre el ancho de calles y plazas para obtener unas buenas condiciones de ventilación y soleamiento.

Esas variables naturales de la morfología urbana suponen un eje de acción en el urbanismo bioclimático: disponer el tejido y estructura urbana de una ciudad favoreciendo el microclima y confort térmico de las personas.

Parámetros microclimáticos

Los parámetros microclimáticos son las condiciones del microclima en un sector urbano, constituido por la temperatura del aire, humedad relativa, viento, radiación solar e iluminación natural. Cada uno de los parámetros microclimáticos puede ser definido de la siguiente manera:

- *Temperatura del aire*

La temperatura del aire (T_a) es el elemento que esta alrededor de nuestro cuerpo, si la temperatura es alta o baja, influye en las aportaciones que le hace al cuerpo a través de la piel, afectando el estado inicial de nuestra propia temperatura, la misma va ligada a la humedad (Rojas, 2013, p. 58). La temperatura del aire, componente del microclima urbano, puede verse afectado de forma positiva o negativa por diferentes patrones físicos y naturales como la arborización presente en un espacio, la circulación del viento, sombras artificiales o naturales, cañón urbano, factor de vista al cielo, etc. La pavimentación además de evitar la infiltración al subsuelo del agua de lluvia, aumenta la temperatura al atrapar los rayos de sol, esto sumado al calor que desprenden actividades humanas: Automotores, Estufas, Aparatos eléctricos, climatizadores artificiales, etc. nos da como resultado el aumento de la temperatura en las ciudades (Galindo y Victoria, 2012).

Según los estudios realizados por Oke (1987), asimilan que el aumento de la temperatura del cañón urbano se encuentra vinculado a la relación H/W y al factor SVF, formulando una conjetura donde plantea que la mayor intensidad de temperatura se registra en horarios nocturnos, debido que, por las noches se desprenden muy lentamente de calor que captan durante el día, como resultado de un SFV muy bajo. Por su parte Taha (1997) estudió de una manera similar la variación de la temperatura

en función del factor de vista del cielo en zonas urbanas (con un SVF entre 0.182 y 0.928). Ambos estudios muestran que el factor de vista de cielo, al depender también de las condiciones climáticas particulares al momento de realizar las mediciones y de la forma de los edificios, no es por si solo un determinante en la variación de la temperatura urbana. De igual manera esto determina también la temperatura superficial que tiene efectos significativos en la sensación térmica de los peatones (Cordero, 2014, p. 26).

- *Humedad relativa:*

La humedad relativa (H_r) es la cantidad de vapor de agua que posee el aire, que puede contener, si su humedad es alta o baja, afecta la evaporación de nuestra piel (sudor), si la humedad en el aire está saturada, el cuerpo no podrá cederle humedad al aire a través de la evaporación de nuestra piel (Rojas, 2013, p. 58). La humedad es una propiedad que describe el contenido de vapor de agua presente en un gas, el cual se puede expresar en términos de varias magnitudes. Algunas de ellas se pueden medir directamente y otras se pueden calcular a partir de magnitudes medidas. La selección de una magnitud de humedad depende de la aplicación. En meteorología la humedad se expresa con la temperatura de bulbo húmedo, en cambio en un cilindro de gas, el contenido de humedad se expresa con la temperatura de punto de rocío. En otras aplicaciones como cámaras de humedad o cuartos limpios se usa la humedad relativa (Martines, 2007).

• *Viento:*

El viento es un tipo de energía solar. La acción del sol y el movimiento de rotación terrestre dan lugar a la presencia del viento en la Tierra. El viento es aire en movimiento que se genera por las diferencias de presión y de temperatura atmosféricas, causadas por un calentamiento no uniforme en la superficie terrestre (García y Fuentes, 2005, p. 15). Desde el punto de vista del confort térmico, el viento es una variable fundamental dentro del microclima urbano. A mayor turbulencia aumenta el potencial de enfriamiento del viento, teniendo en cuenta que la turbulencia está relacionada con la velocidad del viento y las caracterizaciones de los espacios, son parámetros que pueden presentar modificaciones en base a la morfología, la trama urbana, rugosidad de la superficie, efecto barrero por vegetación o edificaciones y el patrón de circulación del viento (Carrasco, 2008), (Chicas, 2012, pp. 27-28). Los efectos del viento pueden estudiarse en distintas variables: velocidad, patrones de circulación, turbulencia y calmas.

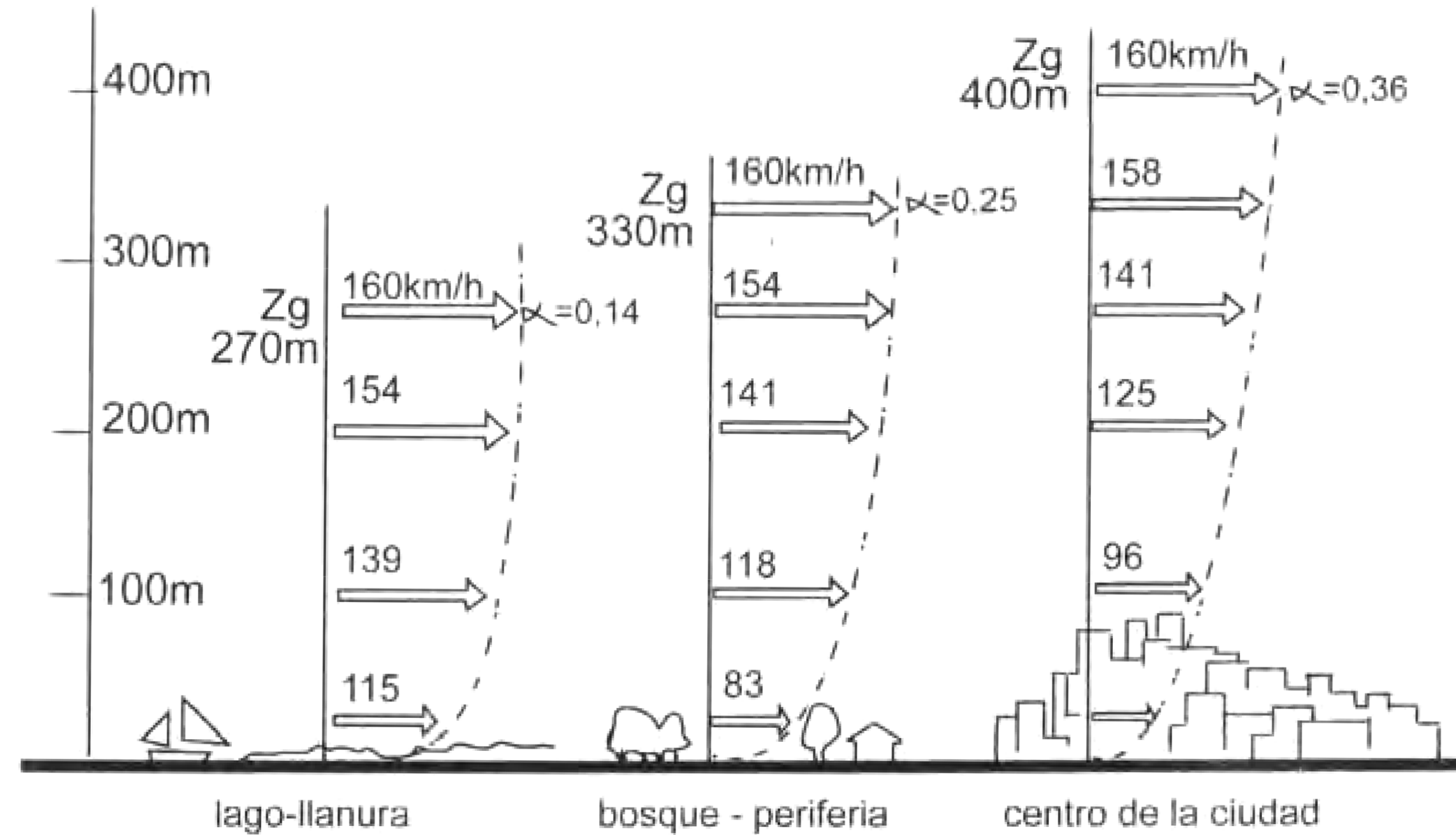


Figura 4. Disminución de la velocidad del viento en zonas urbanas.
Fuente: Carrasco, 2008, p. 89.

La circulación y velocidad del viento puede reducirse al entrar en contacto con zonas urbanas. La velocidad del viento dominante por lo general proviene de una localidad determinada y, a medida que la circulación del viento entra a la ciudad, su flujo se reduce debido que el viento experimenta fricción en la diferente superficie del caño urbano, orientación y canalización, por lo que se produce movimientos turbulentos. Si esta variable no presenta un manejo adecuado, puede generar efectos negativos para el confort de los transeúntes. El buen manejo del viento como parámetro microclimático influye de manera positiva en el diseño urbano para condicionar térmicamente los espacios exteriores de la ciudad y a su vez mejorar el confort interno de las edificaciones (Dessí, 2007).

La relación H/W y las diferentes condiciones de una morfología urbana alteran el flujo del viento, modificando su circulación y mejorando su comportamiento. La velocidad del viento se incrementa drásticamente con la altura. Esto se debe a la fricción que se origina entre las moléculas de aire más cercanas al suelo y las capas superiores de aire, ya que las primeras se desplazan más lentamente que las segundas, debido al grado de rugosidad de la superficie, el cual determina el factor de fricción superficial (Figura 4) (García y Fuentes, 2005, p. 24).

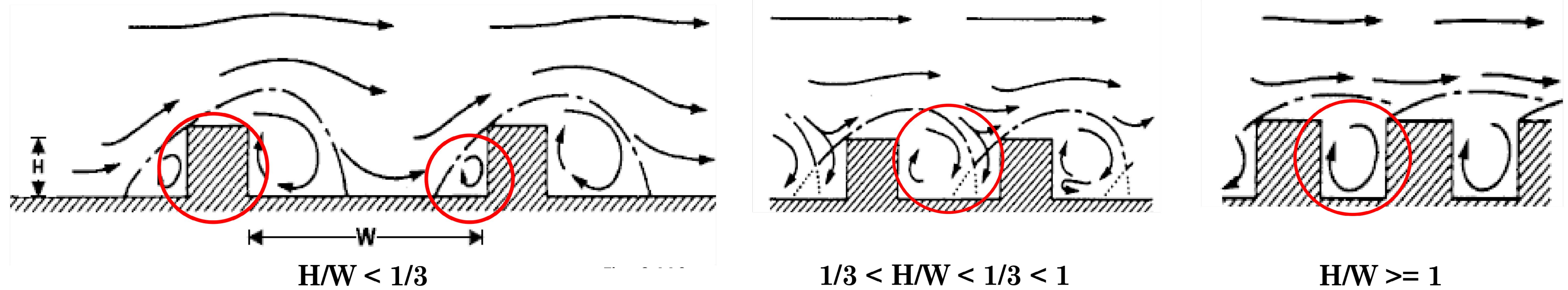


Figura 5. Comportamiento del viento en cañones urbanos con diferente relación de aspecto.
Fuente: Carrasco, 2008, p. 96.

La rugosidad superficial influye de forma directa en los parámetros microclimáticos, especialmente en el viento. La fricción superficial produce turbulencia mecánica en las corrientes de aire y se determina por la rugosidad de las superficies y la velocidad del viento; la turbulencia térmica se asocia con la inestabilidad y actividad convectiva (García y Fuentes, 2005, p. 21). Oke (1987) realizó un estudio so-

bre el flujo del aire en dirección perpendicular para cañones urbanos con diferente relación de aspecto. Teniendo en cuenta que en donde hay una gran separación entre edificios, con una relación de aspecto de H/W menor a $1/3$ existe un comportamiento aislado de los flujos de aire, es decir se producen turbulencias aisladas.

En un cañón urbano con una relación de aspecto media, en donde el alto de los edificios es aproximadamente igual al ancho, es decir un H/W menor o igual a 1, se registra un comportamiento que interactúa dentro del cañón provocando una interferencia entre las turbulencias opuestas y a medida que el cañón se cierra, alcanzándose un H/W mayor que 1, se produce un único movimiento turbulento al

interior del cañón urbano. Así mismo en este último en la profundidad y centro del cañón se registran menores velocidades debido al roce de los muros y a que el flujo de aire pasa aceleradamente por el nivel de techo de los edificios, condición que puede considerarse ventajosa o no para protección de los peatones, pues reduce el flujo del aire en el nivel cerca de la calle (Figura 5) (Givoni, 1998) (Carrasco, 2008).

En cuanto a las zonas rurales, el viento mantiene una circulación normal, siendo modificado por los elementos naturales del medio. Las montañas y valles (condiciones topográficas del medio) originan un cambio importante en la dirección y velocidad de los vientos. La vegetación tiene efectos similares pero a menor escala (García y Fuentes, 2005, p. 23).

El viento es uno de los parámetros microclimáticos que ha sido estudiado mayormente, especialmente, los efectos del viento en el medio urbano y en el confort térmico. La morfología urbana, vegetación e incluso los otros parámetros microclimáticos como temperatura del aire, inciden en los efectos del viento. La altura promedio de los edificios y sobre todo la disposición de edificios de diferentes alturas, pueden generar situaciones muy distintas de régimen de vientos. Es posible tener una zona urbana de alta densidad con combinación de edificios altos y bajos, con mejores condiciones de ventilación, que un área de menor densidad pero con edificios de la misma altura, ya que contar con edificios que se elevan muy por encima de aquellos que los rodean genera corrientes de aire en la zona, que pueden mejorar las condiciones de ventilación en el nivel de la calle (Givoni, 1998).

• Radiación solar

El sol influye directamente en el medio ambiente urbano de diversas formas: como radiación solar directa y reflejada; como radiación difusa (Higuera, 1998, p. 18). La radiación solar puede ser estimada para un determinado plano, ya sea horizontal, inclinado o normal a los rayos solares.

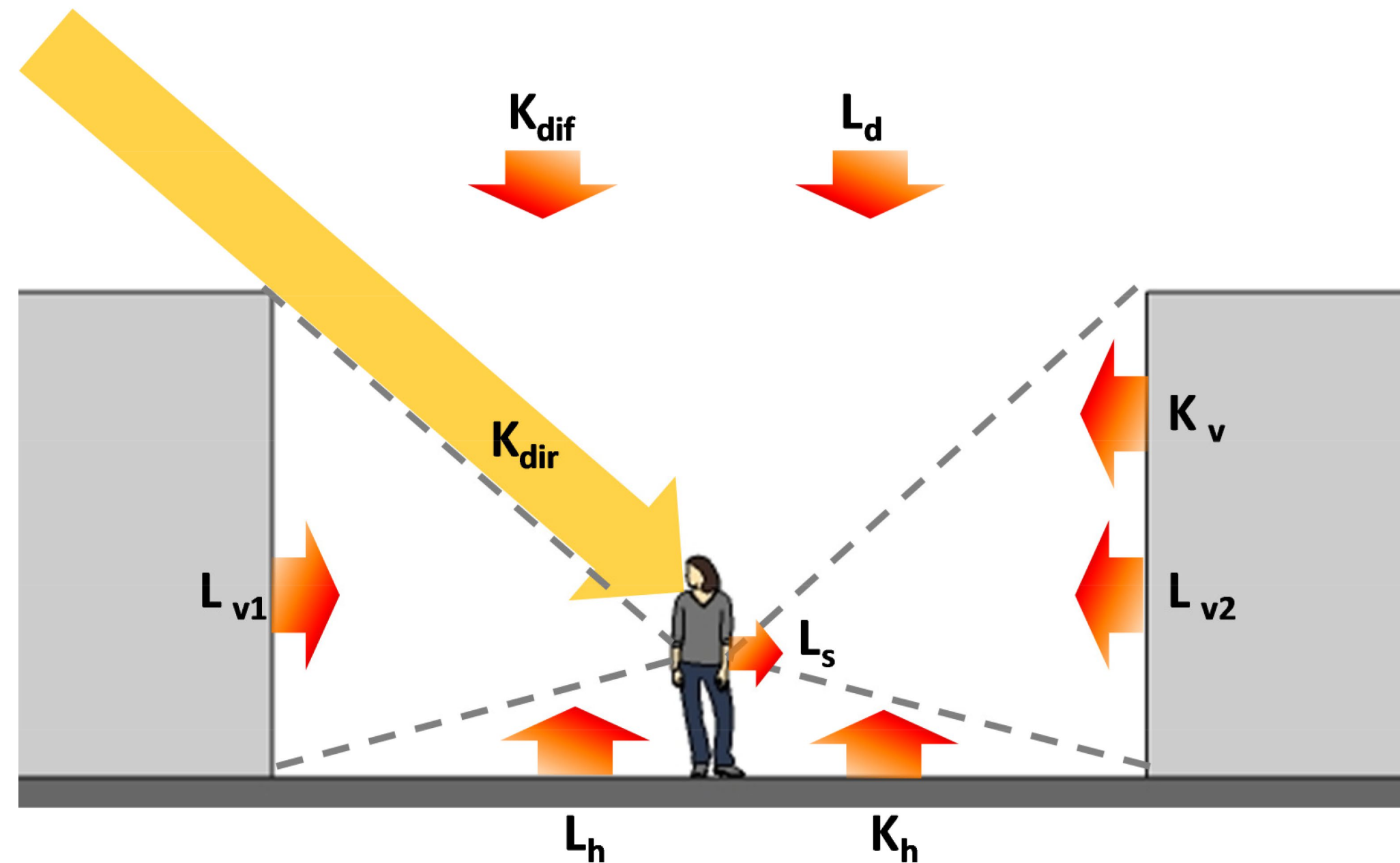


Figura 6. Interacciones radiativas entre el cuerpo humano y el ambiente construido.

Fuente: Chicas, 2012, p. 20.

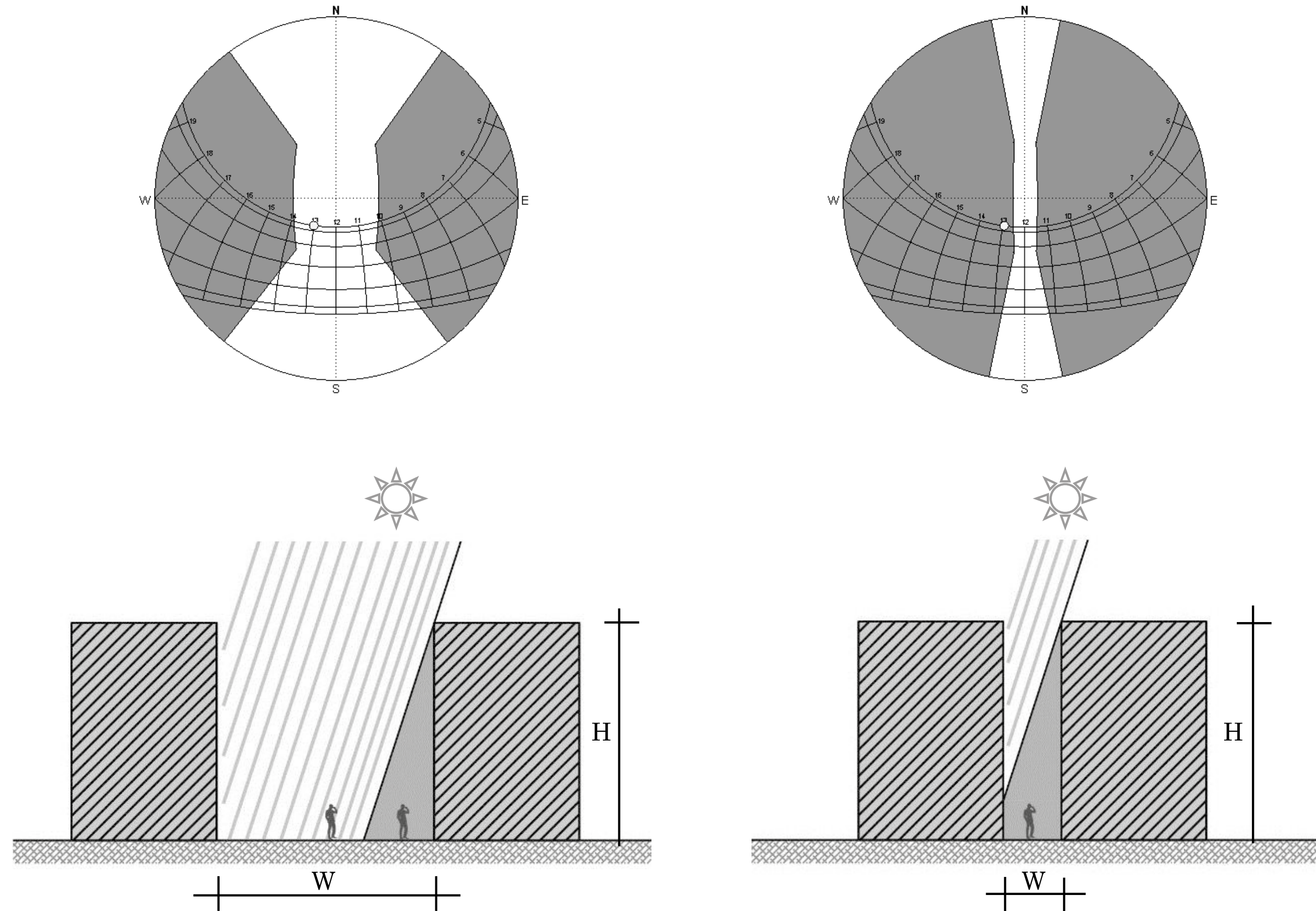
(Guevara, 2003). El cuerpo humano percibe una extensa oscilación de sensación térmica dependiendo de la incidencia solar en dos formas. La primera consiste en la radiación emitida directamente desde la superficie del sol en un espectro que se descompone en luz visible (menor fracción), siendo una onda corta y la mayor parte invisible en forma de radiación infrarroja, que es de onda larga; la segunda es la radiación de onda larga o térmica que es emitida por la atmósfera y por las superficies del medio ambiente construido, ambas formas de radiación son absorbidas por el cuerpo humano e interactúan en un intercambio térmico con el medio ambiente urbano (Figura 6) (Cordero, 2014, p. 20).

Con respecto a la figura anterior, se identifican los siguientes elementos:

- **K_{dir}**: es la radiación de onda corta incidente en el cuerpo humano.
- **K_{dif}**: es la radiación difusa incidente sobre el cuerpo humano.
- **K_h**: radiación indirecta sobre el cuerpo, reflejada por las superficies horizontales.
- **K_v**: radiación solar indirecta reflejada por las superficies verticales.
- **L_d**: radiación de onda larga incidente en el cuerpo, emitida desde el cielo.
- **L_h**: radiación de onda larga incidente en el cuerpo, emitida por las superficies horizontales.
- **L_v**: radiación de onda larga incidente en el cuerpo, emitida por las superficies verticales.
- **L_s**: radiación de onda larga emitida por el cuerpo al medio ambiente.

Las interacciones describen un balance radiactivo sobre las personas (ganancias, pérdidas y almacenamiento de calor) que es necesario comprender para la búsqueda del confort térmico en los espacios exteriores. En espacios interiores, por lo general los intercambios radiantes, tanto de onda corta como onda larga son despreciables. Por el contrario, en espacios exteriores este efecto no solo está siempre presente, sino que su cuantía es porcentualmente la mayor de todas las ganancias, en consecuencia, el bloqueo efectivo de la radiación, es la medida más eficaz para controlar el confort térmico en espacios urbanos (Chicas, 2012). El flujo de radiación dentro de un cañón urbano está relacionado con el balance de entradas de luz desde las variables de: factor vista del cielo, BVF superficie radiante, radiación difusa y la radiación reflejada en las superficies exteriores. Este componente tiene gran influencia en las transferencias de calor entre la atmósfera urbana, la superficie y la temperatura del aire (Givoni, 1998; Cordero, 2014, pp. 24-25). El diseño de la calle, con su respectivo ancho, altura de edificación y orientación, son factores importantes determinantes en la radiación incidente cerca de la superficie de la tierra y en consecuencia de la creación o no de zonas de sombras en calles y aceras (Figura 7) (Taha, 1997).

Figura 7. Morfología urbana y radiación solar directa incidente en el cañón urbano.
Fuente: Cordero, 2014, p. 21.



Según Ludwing (1970), la relación (H/W) y distancia de los edificios colindantes y enfrentados, influyen en el porcentaje de radiación entrante en el cañón urbano de manera directa e indirecta, en la reflexión de onda, absorción de onda corta y emisión de onda larga. En campo abierto la mayor parte de la radiación es reflejada lejos o emitida, después de su absorción, como radiación de onda larga hacia al cielo. En un cañón urbano con un H/W igual a 1, gran parte de la radiación se refleja hacia los otros edificios o el piso y es eventualmente absorbida cerca del nivel de la calle. En un cañón urbano con un H/W igual o mayor a 4 o más la mayoría de la absorción de la radiación tiene lugar muy por encima del nivel de la calle, como consecuencia la cantidad de radiación que llega al piso y calienta el aire cerca de este sería menor que en caso del cañón con un H/W menor (Figura 8) (Givoni, 1998).

La incidencia de radiación solar en un espacio urbano depende de la visibilidad o trayectoria solar. Dentro de un cañón urbano o en cualquier superficie, la visibilidad del sol es obstruida cuando llega un punto donde el ángulo de altitud del objeto que obstruye, se encuentra por encima de la altura solar. Los parámetros que definen el ángulo de obstrucción son la altura del objeto obstructor (H), sea un edificio o algún objeto del paisaje y la separación entre el punto estudiado y la obstrucción (D) (Figura 9) (Torres, 1999).

Por otro lado, procedente del sol, la radiación solar directa, condiciona el diseño de edificios y espacios libres urbanos. La atmósfera actúa de filtro y espejo de la radiación solar, permitiendo la entrada a una banda del espectro, desde los rayos ultravioleta (interesantes urbanísticamente por su valor actínico: fijación del calcio, bactericida etc.) a los infrarrojos (con valor térmico). Tras atravesarla, la energía ha disminuido considerablemente; la fracción de la constante solar que recibe el suelo es la radiación directa, cuyo valor varía de acuerdo con las circunstancias: la transmisión atmosférica, o condicionantes geográficos como la altitud respecto al nivel del mar (Higueras, 1998, p. 18).

Figura 8. Distribuciones esquemáticas de la radiación solar según la morfología urbana (h/w).
Fuente: Givoni (1998).

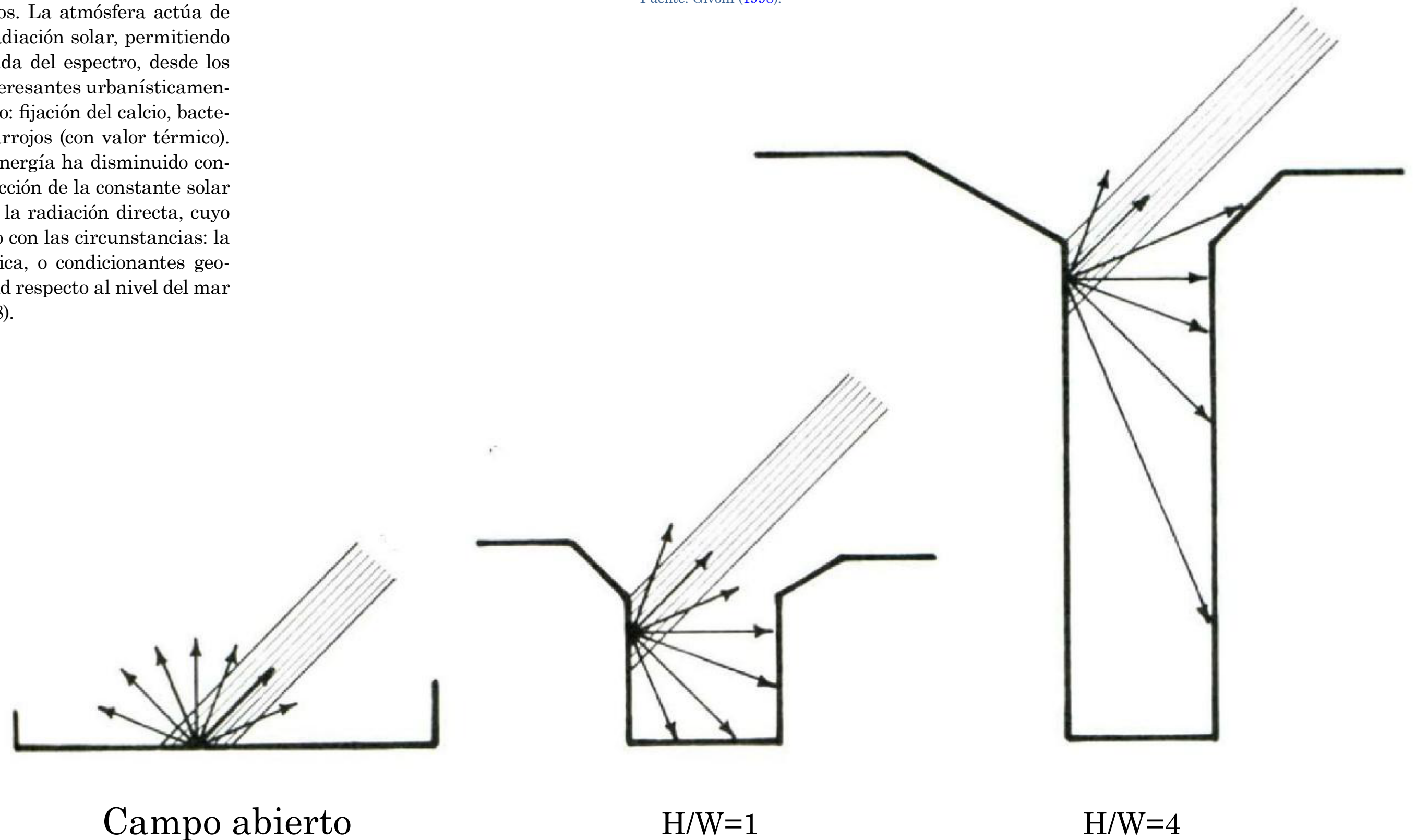
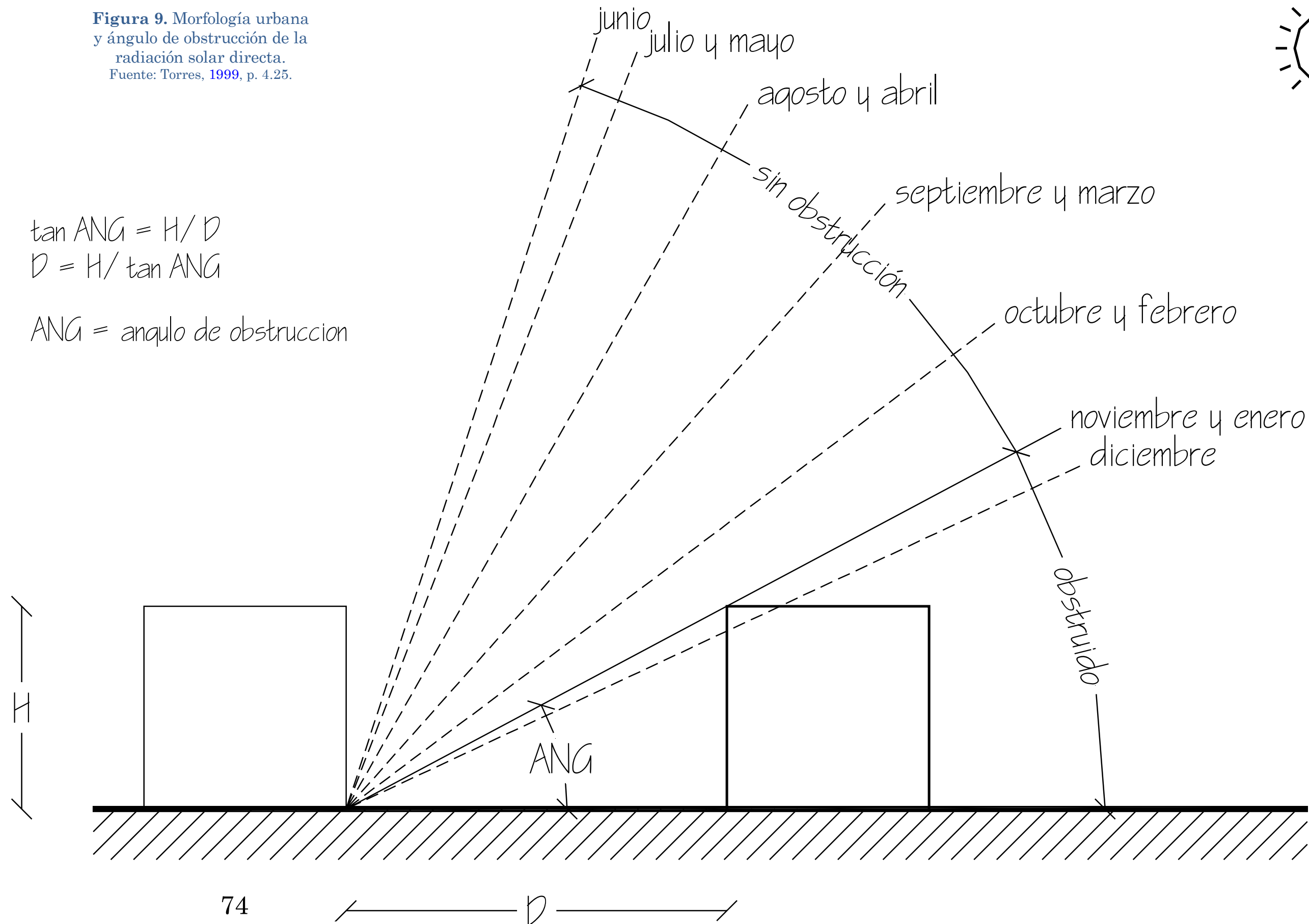
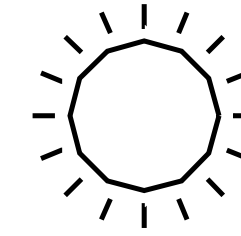


Figura 9. Morfología urbana y ángulo de obstrucción de la radiación solar directa.
Fuente: Torres, 1999, p. 4.25.



Según Cordero (2014), en relación a la radiación difusa esta proviene de la bóveda celeste, por lo tanto, la cantidad de radiación incidente sobre el espacio urbano y usuarios depende directamente de la cantidad de cielo que la superficie ve (sky view factor). Sin embargo, en términos de confort térmico urbano la radiación difusa es considerada poco relevante. La radiación difusa, es la procedente de la refracción y difusión sobre las superficies colindantes o la atmósfera, de la radiación solar directa. Su existencia se materializa claramente en los días nublados, sin sol. Es un factor importantísimo el albedo del suelo, diferente según la composición del mismo, y en clara diferencia entre el medio natural y el urbano, donde predominan las superficies pavimentadas y asfaltadas. La radiación difusa está totalmente relacionada con la iluminación (Higueras, 1998, p. 18).

En el diseño urbano, el estudio de la radiación solar cobra importancia en cuanto a las ganancias, almacenamientos y pérdidas de calor por parte de las personas y que influye en la sensación de confort térmico del individuo. En las regiones del trópico, principalmente en el caso de estudio de esta investigación, los rayos solares inciden de forma perpendicular y se presentan dos tiempos estacionales: un período de verano y otro denominado invierno que es un período de lluvias constantes. Sin embargo, el buen diseño de los espacios urbanos, puede beneficiar el confort y bienestar térmico de los individuos, aprovechando los efectos de la radiación solar. Durante los calurosos días de verano, la intensa radiación solar puede promover el calentamiento radiactivo y, por lo tan-

to, el enfriamiento por evaporación, siempre que haya agua de las superficies debajo del árbol y de las plantas (Fischer & Seneviratne, 2007; Seneviratne, Luthi, Litschi & Schar, 2006) (Rahman, Moser, Gold, Rötzer & Pauleit, 2018).

- *Iluminación natural*

La iluminación es la cantidad de flujo luminoso que incide sobre una unidad de área (Rodríguez, y otros, 2006, p. 128). La iluminación natural es una fuente de energía sustentable tanto para espacios internos y/o externos, el aprovechamiento de este recurso natural puede influenciar de manera positiva el entorno urbano. Sin embargo, es relevante la influencia del lugar, la orientación, la forma de los edificios y la materialidad del entorno. La iluminación en entornos urbanos ha sido un tema de poco estudio. En realidad, se ha investigado la iluminación natural en espacios interiores, tomando como base los elementos exteriores del espacio como condicionantes para la entrada de luz de sol. Por esta razón, según Muñoz (2010), la iluminación en la arquitectura es la combinación de luz natural y artificial, dentro de un espacio, con la finalidad de otorgarle las características necesarias para darle identidad y responder a las funciones que se desempeñan dentro de él, cumpliendo simultáneamente con las necesidades ópticas y no ópticas. Es un elemento esencial en arquitectura, su grado de intensidad modifica la tez de los edificios de manera natural a lo largo del día, por lo que hemos hecho de ella un elemento indispensable en el diseño.

Con mayor o menor fortuna, la luz natural ha estado presente en todos los movimientos arquitectónicos y su funcionalidad dentro de un espacio puede analizarse desde distintos aspectos. Sin luz seríamos completamente incapaces de comprender y apreciar el color, la profundidad, el espacio o el volumen, puede determinar nuestras emociones y estados de ánimo ya que afecta la capacidad del cerebro para el manejo de la información puesto que la cantidad de luz, nos afecta a nivel neurofisiológico, proporcionándonos información acerca de las características de los objetos que nos rodean y de esta forma nos podemos desenvolver en nuestro espacio físico, permitiendo: que nos orientemos en el espacio, desempeñar una tarea, sentir confort visual, modificar nuestro ambiente y estado anímico, comunicarnos socialmente, establecer un juicio estético, experimentar seguridad y tener salud y bienestar. Por tanto, la calidad de la iluminación es significativa para la salud humana, igual que para la seguridad y el rendimiento laboral (Gardner & Molony, 2002; Muñoz, 2010, pp. 21-22)

- *Vegetación urbana*

La vegetación es el sistema respiratorio del planeta; remueve el dióxido de carbono y otros contaminantes del aire, regenera el oxígeno de la atmósfera, reestablece los niveles de humedad y atrapa el polvo del ambiente (García y Fuentes, 2005, p. 35). Una característica importante de las ciudades tropicales es la vegetación urbana,

que crea sombras en las calles y en las zonas residenciales y contribuye a desarrollar las posibilidades de adaptación frente al cambio climático. También actúa como un sumidero de carbono, en relación con la cantidad de cobertura verde (Abreu-Harbich, Labaki & Matzarakis, 2013a; 2013b; 2015)

“El espacio verde es una necesidad que prevalece a través del tiempo. Se ha reflejado en el jardín, en espacio de esparcimiento o simplemente el placer de la estética” (Rojas, 2013, p. 55). La presencia de la vegetación en el diseño urbano se vuelve fundamental para mejorar las condiciones microclimáticas y la calidad de vida de las personas. Su efectividad depende de la densidad del follaje, de la forma de las hojas y de los patrones de ramificación. Los árboles y vegetación también ayudan al mejoramiento del clima a través de la evapotranspiración por lo cual han sido llamados acondicionadores naturales del aire. Los árboles urbanos pueden modificar la temperatura del aire, aumentar la humedad del aire, reducir la velocidad del viento y modificar los contaminantes del aire (Streiling & Matzarakis, 2003; Abreu-Harbich, Labaki & Matzarakis, 2015).

A través del tiempo la ciudad tomó un valor más significativo, por lo que el espacio verde pasó a ser el elemento no solo funcional o belleza del hogar, sino también de la ciudad, un elemento urbanístico que además de embellecer, suma elemento de confort al espacio público o privado (Rojas, 2013, p. 55). La vegetación en

espacios urbanos tiene efectos positivos sobre el ambiente. Permite la dilución del aire que “consiste en la mezcla de aire fresco y limpio (puro) con aire contaminado, este último, al pasar a través de la vegetación se diluye y da como resultado un aire enriquecido de oxígeno” (García y Fuentes, 2005, p. 36). Los efectos de limpieza del aire se producen aerodinámicamente al frenar la masa vegetal y retener las partículas y por captación de algunas especies vegetales para fijarlas. La reacción de las plantas ante los contaminantes difiere según sus factores particulares de crecimiento - abonos y humedad del suelo -, de las condiciones atmosféricas- viento, lluvia etc., y del estado de desarrollo de la misma. Cada especie vegetal presenta reacciones propias ante los diferentes elementos contaminantes y su reacción ante dosis del producto más bajas que los animales o el hombre (Higueras, 1998, p. 18). Las plantas transpiran una cantidad considerable de agua. La humedad en suspensión alrededor de las plantas incrementa el contenido de agua en el aire y asienta los contaminantes del viento (García y Fuentes, 2005, p. 37).

Los efectos de la vegetación en el medio urbano y los parámetros microclimáticos son:

- *Acción sobre la humedad ambiental:* Por su función fisiológica, liberan humedad al ambiente, del agua sustraída por sus raíces; un metro cuadrado de bosque aporta 500 kg de agua anuales (Higueras, 1998, p. 18).

- *Acción sobre la velocidad del aire:* Su discontinuidad de ramas, hojas etc. le confiere ventajas frente a otro tipo de barreras protectoras contra el viento, que generan efectos perjudiciales y grandes turbulencias en el entorno, ya que no desvían los vientos, sino que los absorben haciéndoles desaparecer. Su longitud de acción está entre 7 y 10 veces la altura de las especies (Higueras, 1998, p. 19). Produciendo efectos como obstrucción, filtración, deflexión y canalización (García y Fuentes, 2005, p. 38):
- *Acción sobre la radiación solar:* Sobre los excesos de radiación del suelo, edificios, espacios abiertos, etc., los árboles son una pantalla ideal. Esto permite un control sobre las temperaturas ambientales muy interesante para alcanzar el confort climático con recursos naturales (Higueras, 1998, p. 19).
- *Protección contra el ruido:* Las barreras vegetales atenúan el ruido en función de la diferencia del trayecto de las ondas sonoras, según el tipo de vegetación que la constituya (Higueras, 1998, p. 19).

Las plantas ayudan a reducir los efectos climáticos negativos de la urbanización, por ejemplo, al absorber parte del calor generado en ambientes urbanos y absorbiendo la lluvia que corre en superficies duras. Ellas de esta manera contribuyen a mejorar los climas urbanos tanto a una escala microclimática como a una escala mayor, ayudando a aminorar los efectos de la isla de calor urbana, combaten las inundaciones urbanas, y reducen los costos asociados con

el enfriamiento de edificios en climas cálidos (Dunnett & Kingsbury, 2008). Una barrera de árboles o arbustos densos, que ataje los vientos dominantes en un clima frío y/o seco, ayudara a que la temperatura y humedad no desciendan más por este factor. Por el contrario, en un clima cálido y/o húmedo, la correcta alineación de la vegetación con los vientos puede conducir a estos obteniendo una reducción en la temperatura y humedad del sitio (Galindo y Victoria, 2012, p. 101). Por su parte, la disminución de la temperatura del aire bajo las copas de los árboles se debe tanto a la sombra como a la transpiración (Kong y otros, 2017; Rahman y otros, 2018).

En cuanto a la relación entre la vegetación urbana y el confort térmico, para Galindo y Victoria, (2012) existen maneras más directas en las que la vegetación incide en el confort del habitante urbano, al proporcionar sombra en días cálidos y techo en días lluviosos. Por lo general, se otorga baja prioridad a la vegetación en áreas urbanas altamente desarrolladas. Con terreno limitado disponible para zonas urbanas. En el verdor, es necesario comprender el comportamiento térmico de los árboles al costado de la carretera en los entornos construidos, planear la plantación de árboles utilizando métodos apropiados e identificar las ubicaciones de plantación adecuadas (Ka-Lun, Tan & Ng, 2017). De la misma manera, es importante identificar la forma, geometría (de tronco y corona) y altura de un árbol presente en el medio urbano (Figura 10).





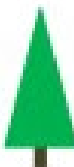
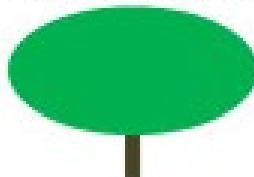





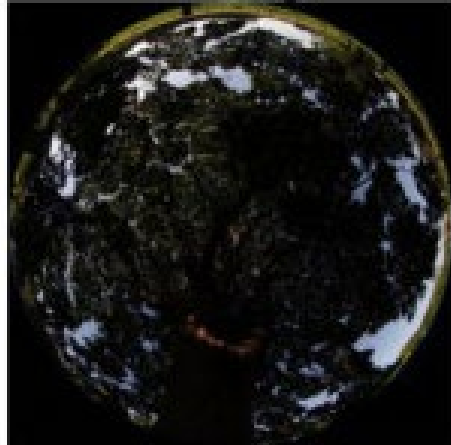


Orthotropic monopodial	Orthotropic Sympodial	Plagiotropic	
			
CROWN GEOMETRY			
Roundhead	Pyramidal	Horizontal branching	Asymmetric
			
HEIGHT			
High	Medium	Low	Very Low
			
PERMEABILITY			
High	Middle	Low	
			

Figura 10. Tipología de arborización.
Fuente: Abreu-Harbich, Labaki & Matzarakis (2015)

Según la geometría del tronco, un árbol puede ser ortrópico monopodial, ortotrópico simopodial y plagiotrópico; en cuanto a la geometría de la corona este puede ser de cabeza redonda, piramidal, ramificación horizontal y asimétrico; finalmente, un árbol por la altura se clasifica en alto, medio, bajo y muy bajo. Estas formas de arborización son importantes en la definición de las tipologías urbanas a simular en la investigación, que permiten analizar los efectos de la vegetación en el microclima urbano. El diseño urbano debe disponer de criterios bioclimáticos donde la vegetación sea un fundamento de la planificación de la ciudad.

Confort térmico en espacios urbanos

Se entiende por “confort” un estado neutralizado donde las personas se sienten plenamente agradable en las condiciones físicas donde se encuentre. Por otro lado, al hablar de confort térmico se habla de las distintas condiciones ambientales que se generan en un espacio interior o exterior, existiendo diferencias sustanciales entre ambos (Höppe & Mayer, 1986; Cordero 2014, p. 13). El confort térmico urbano es un ambiente externo donde interfieren los fenómenos energéticos, ocasionando un intercambio de energía en el ser humano y el medio circundante. Estudios acerca del confort térmico urbano demuestran que, un 20% de la energía que utiliza el ser humano es transformada en trabajo mecánico, y el restante se convierte en calor. Esa producción de calor compensa las pérdidas que tenemos hacia el ambiente exterior, regulando la temperatura, y así,

generando la sensación de confort (Coch y Serra, 1995; Cordero, 2014, p. 13).

El confort térmico en las ciudades es cada vez más importante, especialmente en el contexto del calentamiento global y la rápida urbanización (Kong y otros, 2016; Luber & McGeehin, 2008; Sanusi, Johnstone, May & Livesley, 2016; Yuan, Norford & Ng, 2017; Li & Ratti, 2018). El confort puede ser definido como el estado subjetivo de comodidad del usuario en un espacio determinado, basado en las necesidades y requerimientos tanto del usuario como del espacio mismo, para la realización de una actividad dada, en el que adaptarse a su entorno le requiere solamente de un mínimo de energía -zona de confort-. Ahora bien, el establecimiento de dicha zona de confort, existe dentro de ciertos rangos para las características de temperatura, humedad, radiación, ventilación etc. (Muñoz, 2010, p. 14)

El confort térmico en espacios urbanos es afectado por la morfología, parámetros microclimáticos y vegetación. Las calles de la ciudad se convierten en una de las características más críticas del paisaje urbano que afectan, o reflejan, los estilos de vida y los aspectos físicos, mentales, y bienestar social (Miller & Tolle, 2016; Li & Ratti, 2018). El confort térmico juega un papel importante en la determinación de la calidad de vida en las ciudades. Por ejemplo, existe una amplia evidencia de que el confort térmico de los peatones urbanos influye en su elección y nivel de actividades al aire libre y la utilización del espacio urbano (Huang, Lin & Lien, 2015; Hwang, Lin & Matzarakis, 2011; (Li, Ratti & Seiferling, 2018).

Con lo anterior, se puede decir que el confort urbano también depende de cuatro parámetros térmicos fundamentales como: Temperatura del aire, envuelve el cuerpo que regula la cesión de calor por conducción-convección y por respiración; temperatura de radiación, media ponderada de las superficies que envuelven el cuerpo, que influye sobre los intercambios radiantes; humedad relativa del aire, modifica las pérdidas por evaporación de transpiración y la humedad cedida con la respiración; velocidad del aire, respecto al cuerpo, influyente en la disipación por convección y en la velocidad de evaporación de la transpiración. No obstante, también influyen factores como la vestimenta, edad, sexo y el grado de actividad de la persona (Coch y Serra, 1995; Cordero, 2014, p. 14).

Por lo anterior, al tratar de estimar la sensación de confort térmico de una persona en espacios urbanos se debe establecer la relación entre mediciones de los parámetros microclimáticos y la percepción de confort de una persona en el momento. De esta manera, la sensación de confort con respecto a la temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento, es distinto en cualquier hora del día. Igualmente, la dificultad para evaluar el confort térmico en espacios exteriores reside en que las condiciones climáticas son más variables y diversas que en espacios interiores. Es así que diversos investigadores han propuesto varios métodos que, por una parte, según afirma Givoni (1998), se centran en establecer la temperatura

de confort para una población, lugar y estación dada, es decir, intentan establecer el rango de temperaturas en las cuales la mayor parte de la población encuentra una sensación térmica confortable.

La vegetación influye de forma positiva en la sensación de confort térmico, al regular la temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento. “La provisión de sombra por los árboles de la calle durante los calurosos meses de verano es un factor primordial para el confort térmico de las personas en las zonas urbanas” (Li, Ratti & Seiferling, 2018, p. 81).

Por su parte, la incidencia de radiación solar también influye en el confort térmico de los individuos, debido a las transferencias de calor e intercambio de energía. Las transferencias de calor se pueden categorizar en procesos de conducción-convección del aire y de radiación; el intercambio de calor por convección ocurre por la circulación del aire alrededor del cuerpo humano. Con respecto a los intercambios por radiación, estos dependerán de las temperaturas del cuerpo humano y de las temperaturas de las superficies adyacentes, ya que éstas irradian calor dependiendo principalmente de las características térmicas de sus materiales y de la radiación solar recibida. En condiciones exteriores, el intercambio radiante del cuerpo humano con el ambiente tiene especial importancia debido a la exposición a la radiación solar, la fría bóveda celeste y las cálidas y frías superficies urbanas (Figura 11) (Cordero, 2014).

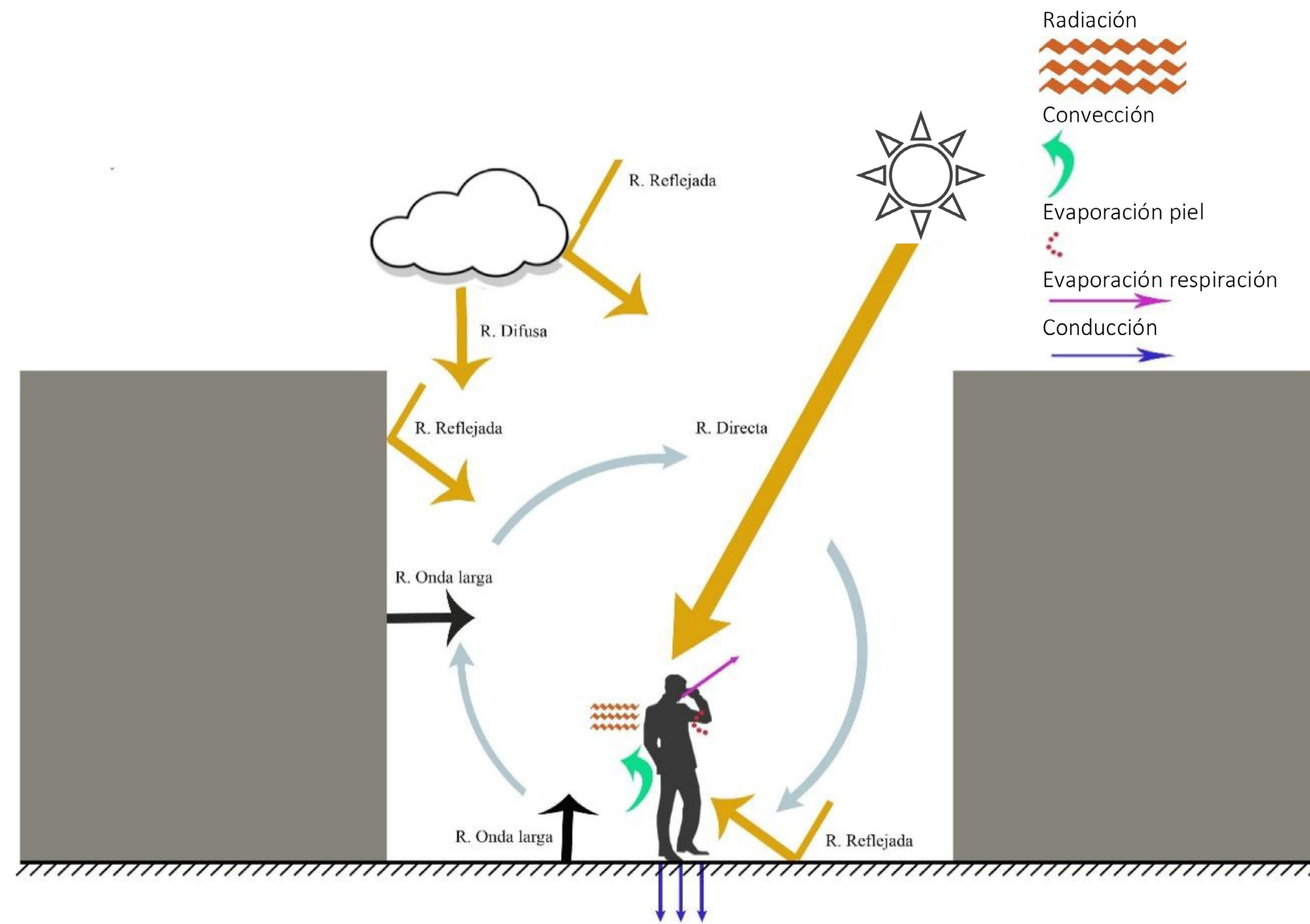


Figura 11. Intercambio de energía entre el cuerpo humano y el ambiente urbano.
Fuente: Cordero, 2014, p. 14.

CONCLUSIONES

Las ciudades son grandes aglomeraciones urbanas que se presentan como un ecosistema urbano, donde factores como el ambiente, la población y el clima las caracterizan. Por tanto, en el urbanismo, la planificación de la ciudad es un proceso complejo y técnico, donde se debe tener en cuenta los aspectos socioculturales y económicos, medioambientales y climáticos del territorio. El diseño urbano no puede responder a intereses económicos, el urbanismo bioclimático aparece como una herramienta para diseñar los espacios en la ciudad, teniendo en cuenta el microclima, paisaje y confort térmico de las personas. El microclima urbano es distinto en cada una de las zonas de la ciudad, respondiendo a las características morfológicas y tejido urbano, así como la presencia de vegetación y materiales de elementos de las fachadas de las edificaciones. Influyendo en el consumo energético de las edificaciones y sensación térmica de los transeúntes. Los parámetros microclimáticos como temperatura del aire, viento, radiación solar, etc., se modifican por las condiciones morfológicas de un espacio urbano. El diseño urbano debe responder a las necesidades y confort humano, construyendo espacios exteriores con las condiciones morfológicas, microclimáticas y ambientales necesarias para el desarrollo urbano. De cierto, cada parámetro microclimático y sus variables puede ser controlada en los espacios urbanos a favor de la eficiencia térmica de las edificaciones, reducción de la isla de calor urbano y confort térmico. No obstante, es importante tomar conciencia de la importancia que cobra el microclima y el confort térmico en el diseño urbano.

El confort térmico en espacios urbanos, sin duda, está condicionado por las variaciones de los parámetros microclimáticos en un espacio, la vegetación presente, la edad, sexo, vestimenta y actividad física de una persona. Así, establecer el confort térmico de un individuo en un espacio urbano, requiere del estudio y análisis del microclima urbano de un sector seleccionado, identificando las condiciones físicas de la persona y estructura urbana del sector. De igual forma, de identificar la presencia de vegetación favorable en la sensación de confort. La vegetación juega un papel fundamental en los espacios exteriores; debajo de los árboles la sensación térmica es bastante favorable para las personas, creándose en estas zonas espacios para el descanso, ocio y trabajo.

El diseño urbano debería responder a criterios bioclimáticos de planeamiento que aseguren el confort térmico, bienestar social y mental de los individuos en espacios exteriores. Los criterios bioclimáticos para el diseño urbano que permitan una adecuada sensación y bienestar térmico de los individuos, tomando como caso de estudio una ciudad con clima cálido húmedo, respectivo de regiones tropicales. El clima cálido húmedo siempre busca confort climático en la protección solar (Sombras) y el viento. Para esto, es necesario el estudio de los parámetros microclimáticos como temperatura del aire, humedad relativa, viento y radiación solar (incluyendo trayectoria solar), los efectos de la vegetación en espacios exteriores y las condiciones de la morfología urbana del espacio. El urbanismo bioclimático que debe proponerse tiene que basarse en el equilibrio entre el microclima urbano, la morfología y vegetación de un espacio exterior.

REFERENCIAS

- Abreu-Harbach, L. V., Labaki, L. C. & Matzarakis, A. (2015). Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics. *Landscape and Urban Planning*, 138, 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.008>
- Abreu-Harbach, L. V., Labaki, L. C. & Matzarakis, A. (2013a). Thermal bioclimate as factor in urban and architectural planning in tropical climates – The case of Campinas, Brazil. *Urban Ecosystems*, 17(2), 489–500. <http://dx.doi.org/10.1007/s11252-013-0339-7>
- Abreu-Harbach, L. V., Labaki, L. C. & Matzarakis, A. (2013b). Thermal bioclimate in idealized urban street canyons in Campinas, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 115(1-2), 333–340. <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-013-0886-0>
- Andreou, E. (2013). Thermal comfort in outdoor spaces and urban canyon microclimate. *Renewable Energy*, 55(c) 182–188. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.12.040>
- Blender, M. (marzo 10, 2015). El confort térmico. *Arquitectura & energía*. [Online]. Obtenido de <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/isla-de-calor-urbana/>
- Brown, R. & Gillespie, T. (1995). *Microclimatic Landscape Design. Creating thermal comfort and energy efficiency*. New York: John Wiley & Sons. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199702\)17:2<225::AID-JOC102>3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199702)17:2<225::AID-JOC102>3.0.CO;2-4)
- Carrasco, C. (2008). *Morfología y microclima urbano. Análisis de la forma espacial y materiales como modeladores del microclima de tejidos urbanos mediterráneos costeros. El caso de la ciudad de Valparaíso*. [Tesis doctoral]. Universidad de Barcelona, España. Disponible en <https://www.tdx.cat/handle/10803/51572>
- Castro, Y., Fernández, E. y Álvarez, A. (2015). Influencia de la forma urbana en el microclima térmico de Sagua la Grande. *Arquitectura y urbanismo*, 36(1), 25–37. Obtenido de <http://rau.cujae.edu.cu/index.php/revistaau/article/view/323>
- Chicas, J. C. (2012). *Morfología urbana y clima urbano estudio de microclimas urbanos en Santiago de Chile, mediante la aplicación del concepto de cañón urbano e índices de confort térmico*. [Tesis magistral]. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Coch, H. y Serra, R. (1995). *Arquitectura y energía natural*. Barcelona: UPC.
- Conde, C., Pabón, D. y Sánchez, R. (2013). La importancia de la información climática para la planificación del crecimiento y desarrollo urbano. En R. S. Rodríguez, *Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina* (pp. 26–40). Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Cordero, X. (2014). *Microclima y confort térmico urbano*. [Tesis Master]. UPC, Barcelona, España.

- Dessi, V. (2007). *Progettare il comfort urbano*. Napoli: Esselibri.
- Dunnett, N. & Kingsbury, N. (2008). *Planting Green Roofs and Living Walls*. Portland: Timber Press.
- Fischer, E. M. & Seneviratne, S. I. (2007). Soil moisture - atmosphere interactions during the 2003 European summer heat wave. *Journal of Climate*. 20(20), 5081–5099. <https://doi.org/10.1175/JCLI4288.1>
- Friedmann, J. (1998). The New Political Economy of Planning: The Rise of Civil Society. En M. Douglass & J. Friedmann, *Cities for citizens: planning and the rise of civil society in a global age* (pp. 19–35). New York: J. Wiley. Obtenido de https://bibliodarb.files.wordpress.com/2014/08/3_friedmann-j-the-new-political-economy-of-planning-the-rise-of-civil-society.pdf
- Galindo, A. S. y Victoria, R. (2012). La vegetación como parte de la sustentabilidad urbana: beneficios, problemáticas y soluciones, para el Valle de Toluca. *Quivera*, 14(1), 98-108.
- García, J. R. y Fuentes, V. (2005). *Viento y Arquitectura. El viento como factor de diseño arquitectónico*. México D.F: Trillas.
- Gardner, C. & Molony, R. (2002). *Luz reinterpretación de la Arquitectura*. México: McGraw Hill.
- Givoni, B. (1998). *Climate Considerations in Building and Urban Design*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Guevara, S. (2003). *Estimación de la radiación solar*. Lima: OPS/CEPIS/UNATSABAR.
- Higuera, E. (1998). *Urbanismo bioclimático. Criterios medioambientales para la ordenación del territorio*. Madrid: Faster.
- Höppe, H. M. & Mayer, H. (1987). Thermal comfort of man in different urban environments. *Theoretical and Applied Climatology*, 38(1), 43–49. <https://doi.org/10.1007/BF00866252>
- Huang, K.-T., Lin, T.-P., & Lien, H.-Ch. (2015). Investigating thermal comfort and user behaviors in outdoor spaces: A seasonal and spatial perspective. *Advances in Meteorology*, 4–14. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/423508>
- Hwang, R.-L., Lin, T.-P. & Matzarakis, A. (2011). Seasonal effects of urban street shading on long-term outdoor thermal comfort. *Building and Environment*, 46(4), 863–870. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.017>
- Ka-Lun, K., Tan, Z. & Ng, E. (2017). Planning strategies for roadside tree planting and outdoor comfort enhancement in subtropical high-density urban areas. *Building and Environment*, 120, 93–109. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.05.017>
- Kong, L., Ka-Lun, K., Yuan, Ch., Chen, Y., Xu, Y., Ren, Ch. & Ng, E. (2017). Regulation of outdoor thermal comfort by trees in Hong Kong Ling. *Sustainable Cities and Society*, 31, 12–25. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.01.018>

- Kong, F., Yan, W., Zheng, G., Yin, H., Cavan, G., Zhan, W. & Cheng, L. (2016). Retrieval of three-dimensional tree canopy and shade using terrestrial laser scanning (TLS) data to analyze the cooling effect of vegetation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 217, 22–34. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.11.005>
- Li, X. & Ratti, C. (2018). Mapping the spatial distribution of shade provision of street trees in Boston using Google Street View panoramas. *Urban Forestry & Urban Greening*, 31, 109–119. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.02.013>
- Li, X., Ratti, C. & Seiferling, I. (2018). Quantifying the shade provision of street trees in urban landscape: A case study in Boston, USA, using Google Street View. *Landscape and Urban Planning*, 169, 81–91. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.08.011>
- Luber, G. & McGeehin, M. (2008). Climate change and extreme heat events. *American Journal Preventive Medicine*, 35(5), 429–435. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2008.08.021>
- Martines L, E. (2007). *Definiciones de humedad y su equivalencia*. [ENME2007]. Obtenido de <http://www.cenam.mx/dme/pdf/TM02.pdf>
- Miller, H. J. & Tolle, K. (2016). Big data for healthy cities: using location-aware technologies, open data and 3D urban models to design healthier built environments. *Built Environ.* 42(3), 441–456.
- Muñoz , D. G. (2010). *La iluminación natural en los espacios arquitectónicos educativos interiores. Modelo de indicadores de diseño*. [Tesis magister]. Universidad Autonoma de San Luis Potosí. San Luis de Potosí, México.
- Nárvaez, F. (2016). *Proceso de diseño urbano orientado a las personas*. [Tesis licenciatura]. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México.
- Ng, E., Chen, L., Wang, Y. & Yuan, Ch. (2012). A study on the cooling effects of greening in a high-density city: an experience from Hong Kong. *Building and Environment* 47(1), 256–271. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.014>
- Oke, T. (1987). *Boundary Layer Climates*. Londres: Routledge.
- Oke, T., Spronken-Smith, R. A., Jáuregui, V. & Grimmond, C. S. B. (1999). The energy balance of central Mexico City during the dry season. *Atmospheric Environment*, 33(24–25), 39319–3930. [https://doi.org/10.1016/s1352-2310\(99\)00134-x](https://doi.org/10.1016/s1352-2310(99)00134-x)
- Quijano, S. A., Ramírez, I. M., & González, J. L. (2017). Gradiente térmico en la ciudad de Medellín y su relación con el crecimiento urbano: estudio de caso. *Producción + Limpia*, 12(2), 159–168. <https://doi.org/10.22507/pml.v12n2a13>
- Rahman, M., Moser, A., Gold, A., Rötzer, T., & Paulleit, S. (2018). Vertical air temperature gradients under the shade of two contrasting urban tree species during different types of summer days. *Science of the Total Environment*, 633, 100–111. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.168>
- Rodríguez, L. (2017). Las condiciones microclimáticas en algunos espacios exteriores cubiertos. En, A. Parisi y A. Naguissa, *II Encuentro Latino-Americano Europeo sobre Edificaciones y Comunidades Sostenibles*, Euro Elecs 2017. São Leopoldo/Rs.

- Rodríguez, M., Figueroa, A., Fuentes, V., Castorena, G., Huerta, V., García, J., Rodríguez, F. y Guerrero, L. (2006). *Introducción a la arquitectura bioclimática*. México, D.C.: Limusa.
- Rojas, G. (2013). *La vegetación tropical en el confort climático urbano” Aplicado a Santo Domingo, República Dominicana en comparación con el clima mediterráneo, Barcelona España*. [Tesis Master]. Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela Técnica Superior de Barcelona, Barcelona, España.
- Rosheidat, B. & Bryan, H. (2010). Optimizing the effect of vegetation for pedestrian thermal comfort and urban heat island mitigation in a hot arid urban environment. *Fourth National Conference of IBPSA-USA*. SimBuild 2010, New York City, USA.
- Sanusi, R., Johnstone, D., May, P. & Livesley, S. J. (2016). Street orientation and side of the street greatly influence the microclimatic benefits street trees can provide in summer. *J. Environ. Qual.* 45 (1), 167–174. <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2015.01.0039>
- Sarricolea, P., Aliste, E., Castro, P. y Escobedo, C. (2008). Análisis de la máxima intensidad de la isla de calor urbana nocturna de la ciudad de Rancagua (Chile) y sus factores explicativos. *Revista de Climatología*. 2008, 8, 71–74.
- Sarricolea, P. y Romero, H. (2010). Análisis de los factores condicionantes sobre las temperaturas de emisión superficial en el área metropolitana de Valparaíso, Chile. *ACE: Arquitectura, ciudad y entorno*. 14, 79–96. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/117841>
- Seneviratne, S. I., Luthi, D., Litschi, M. & Schar, C. (2006). Land-atmosphere coupling and climate change in Europe. *Nature*, 443, 205–209. <http://dx.doi.org/10.1038/nature05095>
- Shashua-Bar, L., Tsiros, I. & Hoffman, M. (2010). A modeling study for evaluating passive cooling scenarios in urban streets with trees. Case study: Athens, Greece. *Building and Environment*, 45(12), 2798–2807. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.06.008>
- Stewart, I. & Oke T. R. (2012). Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bulletin American Meteorological Society*, 93(12), 1879–1900. <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
- Stewart, I. & Oke. T. R. (2009). Classifying urban climate field sites by “local climate zones the case of Nagano, Japan. In H. Bridgman (ed.), *The seventh International Conference on Urban Climate*, ICUC-7, Yokohama, Japan. Disponible en http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended_abstracts/pdf/385055-1-090515165722-002.pdf
- Streiling, S. & Matzarakis, A. (2003). Influence of single and small clusters of trees on the bioclimate of a city: A case study. *Journal of Arboriculture*, 29(6), 309–316.
- Taha, H. (1997). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration and anthropogenic heat. *Energy and Buildings*, 25(2), 99–103. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(96\)00999-1](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)00999-1)

- Tella, G. (2014). *Planificar la ciudad : estrategias para intervenir territorios en mutación*. Buenos Aires: Diseño.
- Torres, J. M. (1999). *La vegetación como instrumento para el control microclimático*. [Tesis Doctoral]. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España.
- Tumini, I. (2012). *El microclima urbano en los espacios abiertos. Estudiop de casos en Madrid*. [Tesis Doctoral]. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- Villadiego, K. (2014). *Une lecture de la forme urbaine et des microclimats. Le cas de Barranquilla*. [These Docteur]. Aix Marseille Université, Institut d'Urbanisme et d'Aménagement Régional-IUAR & Laboratoire Interdisciplinaire en Urbanisme-LIEU, Marseille, France.
- Yuan, C., Norford, L. & Ng, E. (2017). A semi-empirical model for the effect of trees on the urban wind environment. *Landscape Urban Plann*, 168, 84–93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.09.029>

Kevin R. Therán Nieto es Estudiante de X semestre del programa de Arquitectura y Diseño de la facultad de Arquitectura de la Universidad de la Costa, CUC en Barranquilla, Colombia. Semillero de investigación del grupo ARUCO de la Facultad de Arquitectura y becado por el Programa Opción en la Universidad de la Costa, CUC (Barranquilla, Colombia).

Lizeth Rodríguez Potes es Doctora en Arquitectura, de la Universidad Aix-Marseille. Investigadora y docente de la Facultad de Arquitectura de la Universidad del Atlántico (Barranquilla, Colombia).

Stephania Mouthon Celedon es Profesor tiempo completo de la Facultad de Arquitectura y Gestor de Publicaciones en la Universidad de la Costa, CUC (Barranquilla, Colombia).

Juliana Manjarres De León es Estudiante de X semestre del programa de Arquitectura y Diseño de la facultad de Arquitectura de la Universidad de la Costa, CUC (Barranquilla, Colombia).

¹ Este artículo es resultado de la revisión de la literatura y marco referencial del proyecto de grado denominado “Propuesta de criterios bioclimáticos para el diseño urbano. Caso de estudio: Barranquilla, Colombia”.